

全国高职高专规划教材

大气污染控制技术(第二版)

DAQI WURAN KONGZHI JISHU

姜成春 主编

中国环境出版社

全国高职高专规划教材

大气污染控制技术

(第二版)

主 编 姜成春

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

大气污染控制技术/姜成春主编. —2 版. —北京: 中国环境出版社, 2016.6

全国高职高专规划教材

ISBN 978-7-5111-2828-7

I. ①大… II. ①姜… III. ①空气污染控制—高等职业教育—教材 IV. ①X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 119774 号

出 版 人 王新程
责任编辑 黄晓燕
文字编辑 高 艳
责任校对 尹 芳
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (第一分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2009 年 7 月第 1 版 2016 年 6 月第 2 版
印 次 2016 年 6 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 17.25
字 数 350 千字
定 价 28.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《大气污染控制技术》

编写人员

主 编 姜成春

副主编 马东祝

参 编 高 辉 赵秋利 张小广 王宗舞 张 辉

前 言

《大气污染控制技术》自 2009 年出版以来以其实用选材、够用为度、深入浅出和简明扼要的特色受到读者的认可，几次重印。考虑到近年大气污染控制技术的发展，一些新理论和新技术需要补充到教材中。同时，一些与大气污染控制相关的国家标准近年也进行了重新颁布。因此，有必要对原有教材进行修订，出版《大气污染控制技术》（第二版）。

《大气污染控制技术》（第二版）新增了最新的大气污染控制相关国家标准，增加了空气质量指数、烟气排放量实测、气态污染物控制技术基础、管道和风机的相关计算等内容，并增加了大量的例题和练习题。同时，对教材原有内容进行了补充和修订，对其中的一些错误也进行了更正。

《大气污染控制技术》（第二版）实用特征更加明显，可使读者在较短时间内对大气污染控制全过程有一个全面了解。本书可作为高等专科学校和高等职业技术学校环境监测与治理专业及环境类其他专业大气污染控制教材，同时也可供环境保护管理人员、技术人员及相关从业人员参考使用。

全书分七章，由姜成春（深圳职业技术学院）担任主编，负责教材的整体构思、统稿工作及教材第五章的编写工作。马东祝（河北工业职业技术学院）担任副主编，负责第二章的编写工作。高辉（洛阳大学）负责第一章的编写工作。赵秋利（杨凌职业技术学院）负责第三章的编写工作。张小广（广东省环保职业技术学院）负责第四章的编写工作。王宗舞（黄河水利职业技术学院）负责第六章的编写工作。张辉（邢台职业技术学院）负责第七章的编写工作。

教材编写过程中,得到了教育部高等学校高职高专环保与气象专业教学指导委员会的关心与支持,中国环境出版社黄晓燕编辑、侯华华编辑对本书的编写和出版给予了大力的支持和帮助。本书编写过程中参考了大量文献资料。在此向专家、编辑及文献原作者一并表示衷心的感谢。由于编者水平所限,实践经验不足,不妥之处在所难免,恳请专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者

2016年1月

目 录

第一章 概 论.....	1
第一节 大气与大气污染.....	1
第二节 大气污染控制的主要内容.....	14
第三节 大气环境标准.....	16
第二章 燃料燃烧与大气污染.....	24
第一节 燃料的种类和性质.....	24
第二节 固体燃料的燃烧过程及设备.....	32
第三节 燃烧过程污染物排放量的计算.....	44
第三章 大气污染扩散.....	57
第一节 大气圈结构及气象要素.....	57
第二节 大气的热力过程.....	62
第三节 烟气在大气中扩散的高斯模式.....	73
第四节 污染物浓度的估算.....	79
第五节 烟囱高度的设计.....	88
第六节 厂址选择.....	91
第四章 颗粒污染物控制技术.....	95
第一节 除尘技术基础.....	95
第二节 旋风除尘器.....	105
第三节 文丘里洗涤器.....	118
第四节 袋式除尘器.....	123
第五节 静电除尘器.....	134
第六节 除尘装置的选择.....	155
第五章 气态污染物控制技术.....	162
第一节 气态污染物控制基础.....	162

第二节 硫氧化物的控制.....	166
第三节 氮氧化物的控制.....	185
第六章 机动车尾气净化技术.....	196
第一节 城市交通趋势及影响.....	196
第二节 汽油发动机污染物的形成与控制.....	203
第三节 降低污染物排放的发动机技术.....	209
第四节 汽油车尾气排放后处理系统.....	214
第五节 新能源汽车技术.....	218
第七章 工业通风技术.....	226
第一节 集气罩设计.....	226
第二节 管道系统的设计.....	240
第三节 风机的选择.....	251
参考文献.....	263
附录一 通用常数.....	266
附录二 通用单位换算.....	267

第一章 概 论

第一节 大气与大气污染

一、大气的组成

(一) 大气和空气

国际标准化组织 (ISO) 对大气和空气作了如下定义: 大气 (atmosphere) 是指环绕地球的全部空气的总和; 环境空气 (ambient air) 是指人类、植物、动物和建筑物暴露于其中的室外空气。据此, 我们可以看到“大气”和“空气”并无本质的区别, 只是“大气”所指范围比“空气”要大一些。大气污染控制工程所研究的内容和范围其实更侧重于和人类关系最密切的近地层环境空气, 因此无论是“大气”或“空气”, 都是指“环境空气”。

(二) 大气的组成

大气是多种气体的混合物, 其组成可以分为三部分: 干燥清洁的空气、水蒸气和各种杂质。

干洁空气的主要成分是氮、氧、氩和二氧化碳气体, 其含量占全部干洁空气的 99.996% (体积), 氦、氖、氪、甲烷等次要组分只占 0.004% 左右。由于大气丰富而有序的运动, 使得从地面到 90 km 高度这一人类经常活动的范围内, 干洁空气的组成保持不变, 物理性质基本相同。表 1-1 列出了乡村或远离大陆的海洋上空典型的干燥空气的化学组成。

大气中的水蒸气含量, 平均不到 0.5%, 与干洁空气不同, 水蒸气的分布极不均匀。随着时间、地点和气象条件的不同, 其变化可达 0.01%~4%。大气中的水蒸气具有重要的功能, 它通过云、雾、雨、雪、霜、露等天气现象的变化, 实现了大气中热能的输送和交换。此外, 水蒸气吸收太阳辐射的能力较弱, 但吸收地面长波辐射的能力较强, 所以对地面的保温起着重要的作用。

大气中的各种杂质是由于自然过程和人类活动排到大气中的各种悬浮微粒和气

态物质形成的。大气中的悬浮微粒包括水滴、冰晶、有机微粒和无机固体微粒。有机微粒主要有细菌、病毒、植物花粉等；无机微粒则包括燃料燃烧和人类活动产生的烟尘、岩石和土壤风化后的尘粒、流星燃烧后产生的灰烬、浪花溅起的盐粒、火山灰等；气态物质主要有硫氧化物、氮氧化物、碳氧化物、硫化氢、氨、甲烷、甲醛、恶臭气体等。

杂质的存在对辐射的吸收和散射，对云、雨、雾的形成、对各种光学现象及人体的健康都具有重要影响，已经深深地影响了我们的生活和未来，是大气污染控制工程研究和治理的对象。

表 1-1 干洁空气的组成

成分	分子量	体积比/%	成分	分子量	体积比/ 10^{-6}
氮 (N_2)	28.1	78.084 ± 0.004	氖 (Ne)	20.18	1.8
氧 (O_2)	32.00	20.946 ± 0.002	氦 (He)	4.003	5.2
氩 (Ar)	39.94	0.934 ± 0.001	甲烷 (CH_4)	16.04	1.2
二氧化碳 (CO_2)	44.01	0.033 ± 0.001	氪 (Kr)	83.80	0.5
			氢 (H_2)	2.016 0	0.5
			氙 (Xe)	131.30	0.08
			二氧化氮 (NO_2)	46.05	0.02
			臭氧 (O_3)	48.00	0.01~0.04

注：干洁空气的平均分子量为 28.966，在标准状态下（273.15 K，101 325 Pa）密度为 1.293 kg/m³。

二、大气污染的基本概念

（一）大气污染

国际标准化组织对大气污染的定义为：由于人类活动或自然过程引起的某些物质进入大气中，呈现出足够的浓度，达到了足够的时间，并因此而危害了人体的舒适、健康和福利或环境。其中人类活动包括生产活动和生活活动；自然过程包括火山活动、山林火灾、海啸、土壤和岩石的风化及大气圈中空气的运动等。对人体舒适、健康的危害，包括对人体正常生理机能的影响，引起疾病以至死亡等；福利则包括与人类协调共存的生物、自然资源及财产、器物等。大气污染主要是由人类活动造成的。

（二）大气污染源和大气污染物

1. 大气污染源

大气污染源可以分为自然污染源和人为源两类：自然污染源是指由于自然原因

向环境释放污染物的地点或场所；人为源是指由于人类的生产活动和生活活动形成的污染源。大气污染控制工程的研究对象主要是人为源。

根据研究的对象和目的的不同，人为源又可做以下划分：按污染源的状态，可分为固定源（各类工厂、窑炉等）和移动源（机动车、飞机等）；按污染物排放的方式，可分为点源（污染物集中于一点或相当于一小范围排放源，如工厂的烟囱排放源）、面源（在相当大的面积范围内有许多个污染物排放源，如一个居住区内许多大小不同的污染物排放源）和线源；按污染物排放的时间，可分为连续源、间歇源和瞬时源；按污染物产生的类型，可分为工业污染源、生活污染源和交通污染源。根据对主要大气污染物的分类统计分析，大气污染源可概括分为三大方面：燃料燃烧、工业生产和交通运输。

2. 大气污染物

国际标准化组织对大气污染物的定义为：由于人类活动或自然过程排入大气的并对人或环境产生有害影响的物质。

大气污染物种类很多，按其存在状态可以分为气溶胶状态污染物和气体状态污染物。

（1）气溶胶状态污染物

在大气污染中，气溶胶是指沉降速度可以忽略的固体粒子、液体粒子或它们在气体介质中的悬浮体系，亦称颗粒物。按照气溶胶的物理性质，可将其分为以下几种。

① 粉尘（dust）：指悬浮于气体介质中的小固体颗粒，受重力作用能发生沉降，但在一段时间内能保持悬浮状态。它通常是由于固体物质的破碎、研磨、分级、输送等机械过程或土壤、岩石的风化等自然过程形成的。颗粒的形状往往是不规则的。颗粒的尺寸范围一般为 $1\sim 200\ \mu\text{m}$ 。

② 烟（fume）：指由冶金过程形成的固体颗粒的气溶胶。它是由熔融物质挥发后生成的气态物质的冷凝物，在生成过程中总是伴有诸如氧化之类的化学反应。烟颗粒的尺寸很小，一般为 $0.01\sim 1\ \mu\text{m}$ 。

③ 飞灰（fly ash）：指随燃料燃烧产生的烟气排出的分散得较细的灰分。

④ 黑烟（smoke）：指由燃料燃烧产生的能见气溶胶。

在无须仔细区分的工程中，一般将冶金过程和化学过程形成的固体颗粒气溶胶及燃料燃烧过程中产生的飞灰和黑烟称为烟尘；在其他情况下或泛指小固体颗粒的气溶胶时，则通称粉尘。

⑤ 雾（fog）：指气体中液滴悬浮体的总称。在气象中指造成能见度小于 $1\ \text{km}$ 的小水滴悬浮体。

根据粉尘颗粒的大小，颗粒物又可分为总悬浮颗粒物（total suspended particle）、可吸入颗粒物 PM_{10} （particulate matter）、细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ （particulate matter）。

总悬浮颗粒物 (TSP): 指分散在大气中的各种粒子的总称, 其空气动力学当量直径小于等于 $100\ \mu\text{m}$, 是目前大气质量评价中的一个通用的重要污染指标。

可吸入颗粒物 (PM_{10}): 指悬浮在空气中, 空气动力学当量直径小于等于 $10\ \mu\text{m}$ 的颗粒物。

细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$): 指悬浮在空气中, 空气动力学当量直径小于等于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的颗粒物。

PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 已经成为最引人注目的研究对象。因为粒径越小, 越容易被人直接吸入并沉积在呼吸道中, 对人体健康的危害越大。且因其在大气中长期漂浮, 易使污染范围扩大, 为新的光化学反应提供反应床, 并产生危害更大的二次污染物。

2012年2月29日, 我国发布新修订的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012), 新标准增加了细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 的浓度限值监测指标。

(2) 气体状态污染物

气体状态污染物是以分子状态存在的污染物, 简称气态污染物。气态污染物种类极多, 主要分为五大类: 以二氧化硫为主的含硫化合物、以氧化氮和二氧化氮为主的含氮化合物、碳氧化合物、有机化合物及卤素化合物 (表 1-2)。

表 1-2 气态污染物及其主要人为源

类别	一次污染物	二次污染物	主要人为源
含硫化合物	SO_2 , H_2S	SO_3 , H_2SO_4 , MSO_4	燃烧含硫的燃料
含氮化合物	NO , NH_3	NO_2 , MNO_3	在高温时 N_2 和 O_2 的化合
有机化合物	$\text{C}_1\sim\text{C}_{10}$	醛, 酮、过氧乙酰基硝酸酯、 O_3	燃料燃烧, 精炼石油, 使用溶剂
碳的氧化物	CO , CO_2	无	燃烧
卤素化合物	HF , HCl	无	冶金作业

注: MSO_4 和 MNO_4 分别表示一般的硫酸盐和硝酸盐。

对气体状态污染物, 根据其来源又可分为一次污染物和二次污染物。一次污染物是指直接从污染源排放到大气中的原始污染物质; 二次污染物是指由一次污染物与大气中已有组分或几种一次污染物之间经过化学或光化学反应而生成的与一次污染物性质不同的新污染物质。

对上述主要气态污染物的特征、来源等简单介绍如下。

① 硫氧化物: 硫氧化物中主要有二氧化硫, 它是目前大气污染中数量较大, 影响范围较广的一种气态污染物。大气中二氧化硫的来源很广, 几乎所有工业企业都可能产生二氧化硫。它主要来自化石燃料的燃烧过程, 以及硫化物矿石的焙烧、冶炼等热过程。火力发电厂, 有色金属冶炼厂、硫酸厂、炼油厂, 以及所有烧煤或油的工业窑炉等都会排放二氧化硫烟气。

② 氮氧化物: 氮和氧的化合物有 N_2O , NO , NO_2 , N_2O_3 , N_2O_4 和 N_2O_5 , 总体

上用氮氧化物来表示。其中污染大气的主要是 NO , NO_2 。 NO 毒性不太大, 但进入大气后可被缓慢地氧化成 NO_2 , 当大气中有臭氧等强氧化剂存在时, 或在催化剂作用下, 其氧化速度会加快。 NO_2 的毒性约为 NO 的 5 倍。当 NO_2 参与大气中的光化学反应, 形成光化学烟雾后, 其毒性更强。人类活动产生的氮氧化物, 主要来自各种炉窑, 机动车和柴油机的排气, 其次是硝酸生产、硝化过程、炸药生产及金属表面处理等过程。其中由燃料燃烧产生的氮氧化物约占 83%。

③ 碳氧化物: CO 和 CO_2 是各种大气污染物中发生量最大的一类污染物, 主要来自燃料燃烧和机动车排气。 CO 是一种窒息性气体, 进入大气后, 由于大气的扩散稀释作用和氧化作用, 一般不会造成危害。但在城市冬季采暖季节或在交通繁忙的十字路口, 当气象条件不利于排气扩散稀释时, CO 的浓度有可能达到危害人体健康的水平。 CO_2 是无毒气体, 但当其在大气中的浓度过高时, 氧气含量相对减小, 对人体产生不良影响。地球上 CO_2 的浓度的增加会产生“温室效应”, 迫使各国政府开始实施控制措施。

④ 有机化合物: 有机化合物很多, 从甲烷到长链聚合物的烃类。大气中的挥发性有机化合物 (VOC), 一般是 $\text{C}_1 \sim \text{C}_{10}$ 化合物, 它与严格意义上的碳氢化合物不完全相同, 因为它除含有碳原子和氢原子外, 还常含有氧、氮和硫的原子。VOC 是光化学氧化剂臭氧和过氧乙酰硝酸酯 (PAN) 的主要贡献者, 也是温室效应的贡献者之一, 所以必须加以控制。VOC 主要来自于机动车和燃料燃烧排气, 以及石油冶炼和有机化工生产等。

⑤ 光化学烟雾: 光化学烟雾是在阳光照射下, 大气中的氮氧化物、碳氢化合物和氧化剂之间发生一系列光化学反应而生成的蓝色烟雾 (有时略带紫色或黄褐色)。其主要成分有臭氧、过氧乙酰硝酸酯、酮类和醛类等。光化学烟雾的刺激性和危害要比一次污染物强烈得多。

(三) 大气污染的危害

1. 对人体健康的影响

大气污染对人体健康危害严重, 其影响与污染物的浓度和毒性、暴露时间, 以及人体健康状况有关。呼吸是人体受到大气污染危害的最直接、最主要的途径, 因此, 大气污染危害的主要表现为会引起一系列呼吸道疾病。此外直接的皮肤吸收和食用受污染的食物也是重要的途径。在突发的高浓度污染物作用下会造成人的急性中毒, 并在短时间内引起死亡。

(1) 颗粒物

颗粒物对人体健康的影响, 主要取决于颗粒物的暴露浓度、颗粒物的粒径和颗粒物的理化活性。

研究数据表明, 因呼吸道疾病、心脏病、肺气肿等疾病到医院就诊人数的增加,

与大气中颗粒物浓度的增加是相关的。在震惊世界的英国伦敦烟雾事件中,颗粒物的浓度与死亡人数具有高度相关性。表 1-3 中列举了颗粒物浓度与其产生的影响之间关系的有限数据。

粒径的大小也同样强烈影响着它们危害的范围及其严重性。一方面,粒径越小越不容易沉降,长时间的漂浮会很容易被人吸入体内,且粒径越小,越容易沉积在肺泡的深处,引起严重的尘肺病;另一方面,粒径越小,粉尘比表面积越大,物理、化学活性越高,可以吸附空气中的各种有害气体(如苯并[a]芘、细菌)而成为它们的载体和进一步反应的反应床。

颗粒物的化学性质在决定它们对健康和环境的影响时也非常重要,重金属(如铬、锰、镉、铅、汞、砷等)和杀虫剂残余物的危害更大,严重时会引起中毒和死亡。

表 1-3 观察到的颗粒物的影响

颗粒物浓度/(mg/m^3)	测量时间及合并污染物	影响
0.06~0.18	年度几何平均, 二氧化硫和水分	加快钢和锌板的腐蚀
0.08	年平均	环境空气质量一级标准
0.15	相对湿度<70%	能见度缩小到 8 km
0.10~0.15	—	直射日光减少 1/3
0.08~0.10	硫酸盐水平 $30 \text{ mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{月})$	50 岁以上人死亡率增加
0.10~0.13	$\text{SO}_2 > 0.12 \text{ mg}/\text{m}^3$	儿童呼吸道发病率增加
0.20	24 h 平均 $\text{SO}_2 > 0.25 \text{ mg}/\text{m}^3$	工人因病未上班人数增加
0.30	24 h 平均值, $\text{SO}_2 > 0.63 \text{ mg}/\text{m}^3$	慢性支气管炎病人可能出现急性恶化的症状
0.75	24 h 平均值, $\text{SO}_2 > 0.715 \text{ mg}/\text{m}^3$	病人数量明显增加, 可能发生大量死亡

(2) 硫氧化物

SO_2 浓度较低 ($1.0 \times 10^{-6} \sim 0.3 \times 10^{-6}$) 时, 会引起人类包括动物出现支气管收缩, 浓度较高 ($3 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-6}$) 时, 多数人开始感觉到刺激, 浓度达到 1.0×10^{-7} 时刺激加剧, 个别人会出现严重的支气管痉挛。与颗粒物和水分结合的硫氧化物对人类健康的影响更加显著。

当大气中的 SO_2 氧化形成硫酸和硫酸烟雾时, 即使其浓度只相当于 SO_2 的 1/10, 其刺激和危害也将更加明显。据动物实验表明, 硫酸烟雾引起的生理反应要比单一 SO_2 气体强 4~20 倍。

(3) 一氧化碳

CO 是一种有毒吸入物。被人体吸入后, CO 会与血液中负责携带氧气的血红蛋白结合, 其结合力比氧与血红蛋白的结合力大 210 倍, 从而妨碍氧气的补给。人暴露于高浓度 (大于 7.50×10^{-8}) 的 CO 中会导致死亡。

(4) 氮氧化物

氮氧化物中对环境影响较大的主要是 NO 和 NO₂。

NO 对生物的影响还不清楚,动物实验认为,其毒性仅为 NO₂ 的 1/5,但当 NO 被释放到大气中以后,会慢慢被氧化成 NO₂。

NO₂ 是棕红色气体,对呼吸器官有强烈的刺激作用,会迅速破坏肺细胞,可能是哮喘病、肺气肿和肺癌的一种病因。NO₂ 浓度升高对儿童的影响尤为明显。当浓度为 1.7×10^{-7} 时,呼吸 10 min,会使肺活量减少,肺部气流阻力增加。当 NO_x 与碳氢化合物混合时,在阳光照射下发生光化学反应生成光化学烟雾。光化学烟雾的成分是光化学氧化剂,它的危害更加严重。

(5) 臭氧

在近地面发现的大气污染物臭氧可以被认为是一种“坏”臭氧,以区别于在地球高空平流层存在的“好”臭氧保护层。近地面臭氧是光化学烟雾的重要组成部分,由大气中的氮氧化物和碳氢化合物气体(也被称为挥发性有机化合物或者活性有机气体)通过复杂的化学反应生成。这些化学反应由夏日的太阳光引发,因为太阳光提供了开始光化学反应的能量。我们把它称为近地面臭氧或对流层臭氧以区别于有益的平流层臭氧。

臭氧属于光化学氧化剂。这些化合物还包括过氧乙酰硝酸酯(PAN)、过氧苯醌硝酸酯(PBN)和其他能使碘化钾的碘离子氧化的痕量物质,非常活泼。近地面臭氧及其他光氧化剂能导致健康问题,因为它会破坏肺组织,减弱肺功能,并且使肺对其他刺激更敏感。研究表明,大气环境中高浓度的臭氧不仅会让那些呼吸系统受到损害,如对患有哮喘的人产生影响,同时也会对健康人体产生影响。

(6) 有机化合物

城市大气中有很多有机化合物是可疑的致突变物和致癌物,包括卤代甲烷、卤代乙烷、卤代丙烷、氯烯烃、氯芳烃、芳烃、氧化产物和氮化产物等。特别是多环芳烃(PAH)类大气污染物,大多有致癌作用,其中苯并[a]芘是强致癌物质。城市大气中的苯并[a]芘主要来自煤、油等燃料的未完全燃烧及机动车排气。苯并[a]芘主要通过呼吸道侵入肺部,并引起肺癌。实测数据表明,肺癌与大气污染、苯并[a]芘含量的相关性是显著的。从世界范围看,城市肺癌死亡率约比农村高 2 倍,有的城市肺癌死亡率是农村的 9 倍。

(7) 铅

铅是一种重金属,能导致神经受到损伤并且会对肝脏和肾脏等器官产生不利影响。儿童暴露在铅污染中会更容易受到一系列的影响,如影响正常发育等。一旦铅通过呼吸或其他方法被摄入人体,它会在血液、骨骼和软组织中产生生物积累,因此铅的影响不太容易被逆转。大气中最大的铅排放源是使用含铅汽油的机动车。此外,铅冶炼和制造过程、水管中铅的腐蚀及含铅涂料等也是大气中铅的重要来源。

2. 对植物的伤害

受污染的空气对植物的破坏有两种途径：一种是被污染空气中污染物的毒性破坏了敏感的细胞膜。如二氧化硫能直接损害植物的叶子，特别是生理功能旺盛的成熟叶子，因为成熟叶子气孔开得最大，而二氧化硫主要是通过气孔侵入的。氟化氢对植物来说是一种累积性毒物。即使暴露在极低的浓度中，植物最终也会把氟化物累积到足以损害其叶子组织的程度。臭氧可对植物气孔和膜造成损害，导致气孔关闭，可损害三磷酸腺苷的形成，降低光合作用对根部营养物的供应，影响根系向植物上部输送水分和养料。另一种途径是通过乙烯类的化学物质，充当植物激素，干扰植物正常的新陈代谢，破坏植物正常的生长和发展。公路和工业区附近的甲醛含量很高足以伤害敏感植物。一些科学家认为欧洲和北美洲大量森林的毁灭是由于火山喷发出的挥发性有机物造成的。

环境因素之间的特定结合会产生协同效应，即同时面临两种环境因素造成的伤害要大于各单因素分别作用之和。例如，白松幼苗分别暴露于低浓度的臭氧和二氧化硫气体中时，没有可见的伤害发生。可是当同样浓度的两种气体同时作用时，会产生可见的伤害。

3. 对器物 and 材料的影响

大气污染对金属制品、油漆涂料、皮革制品、纸制品、纺织品、橡胶制品和建筑物等也会产生严重损害。这种损害包括沾污性损害和化学性损害两个方面。沾污性损害时是尘、烟等粒子落在器物表面造成的，有的可以通过清扫冲洗除去，有的很难除去，如煤油中的焦油等。化学性损害是由于污染物的化学作用，使器物腐蚀变质。如 SO_2 可使纸张变脆、褪色，使胶卷出现污点、皮革脆裂并使纺织品抗张力降低， SO_2 是造成金属腐蚀最为有害的污染物。含硫物质或硫酸会侵蚀多种建筑材料，如石灰石、大理石、花岗岩、水泥砂浆等，这些建筑材料先形成较易溶解的硫酸盐，然后被雨水冲刷掉。 O_3 及 NO_x 会使染料与绘画褪色，使艺术品失去价值。

4. 对大气能见度和气候的影响

(1) 对大气能见度的影响

大气污染最常见的后果之一是大气能见度降低。一般来说，对大气能见度或清晰度有影响的污染物是气溶胶粒子（TSP、光化学烟雾）、能通过大气反应生成气溶胶粒子的气体（ SO_2 和其他含硫化合物）或有色气体（ NO_2 ）。

通常气候干燥时能见度比潮湿时好得多，主要因为细颗粒物从大气中吸收水分长大到更有效地散射太阳光的尺度。能见度降低会影响人们对环境的审美及交通安全。

(2) 对气候的影响

大气污染对气候的影响极其复杂， CO_2 等温室气体的增加导致大气层温度升高，气候变暖，形成温室效应，同时气溶胶因为反射阳光使地表空气温度降低，就局部

区域而言,气溶胶会大大抵消温室气体的温暖效应,但是气溶胶在空气中存在时间很短,因而降温效果是暂时的。20 世纪许多工业城市都经历了显著的变冷趋势。无论人为气溶胶还是天然气溶胶对气候的影响都是重要的。1991 年菲律宾皮纳图博火山爆发时喷射出的巨量火山灰和硫酸盐颗粒,使全球气温降低 1°C 达 1 年之久。由于空气温度升高和海水表层升温造成的水蒸气含量增加是飓风和极端天气(罕见的大雨及洪水)频频发生的直接原因。

三、全球性大气污染问题

(一) 全球气候变暖

大气中的 CO_2 和 H_2O 等微量组分对地球长波辐射吸收作用使近地面热量得以保持,从而导致全球气温升高的现象称为“温室效应”。

按照全球政府间气候变化小组(IPCC)第三次报告评估,全球平均地表气温自 1861 年以来一直在升高,20 世纪增加了 $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$,全球海平面上升了 10~20 cm。该报告和更多的数据显示:全球气候正在发生有史以来从未有过的急剧变化。并且根据各种计算机模型的预测,地球平均表面温度预计在 1990—2100 年还将升高 $1.4 \sim 5.8^{\circ}\text{C}$,海平面将升高 8~9 cm。全球气候变暖将使得雪盖面积和冰川面积减少,导致海平面上升,使全球降水格局发生变化并导致全球灾害性气候增加,加大人群的发病率和死亡率,影响农业和自然生态系统。

全球气候变暖主要是人类在自身发展过程中对自然资源的过度开发,特别是对能源的过度使用从而造成大气中人为温室气体快速增加的结果。在已知的 30 多种与气候变化相关的大气组分中,二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氟利昂和臭氧是对气候变暖贡献最为显著的 5 种气体。其主要特征见表 1-4。

表 1-4 主要温室气体及其特征

气体	大气中体积 分数/ 10^{-6}	年增长率/%	生存期/a	温室效应比 ($\text{CO}_2=1$)	现有贡献 率/%	主要来源
CO_2	355	0.4	50~200	1	50~60	煤、石油、天然气、森林砍伐
CFC	0.000 85	2.2	50~102	3 400~15 000	12~20	发泡剂、气溶胶、制冷剂、清洗剂
CH_4	1.7	0.8	12~17	11	15	湿地、稻田、化石、燃料、牲畜
N_2O	0.31	0.25	120	270	6	化石燃料、化肥、森林砍伐
O_3	0.01~0.05	0.5	数周	4	8	光化学反应